

1. Инструкция по организации в Минэнерго России работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии. Утв. приказом Минэнерго России от 30 декабря 2008 г. № 325.

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СРЕДЕ ANSYS**

*Малыгин И В., Пластун А.Т.  
УрФУ, mitrael\_1@mail.ru*

Проектирование электромеханических устройств не классического исполнения, например, синхронного двигателя с кольцевыми обмотками, представляет собой весьма трудоемкий процесс [1]. С целью уменьшения трудоемкости проектирования электромеханических устройств не классического исполнения в последние десятилетия создаются и совершенствуются различные системы автоматизированного проектирования. К таким системам относятся, например, пакеты компьютерных программ *ANSYS*, *ELCUT*, *FEMM*, *FEMLAB* и другие. Для решения поставленных задач все программы и пакеты программ используют метод конечных элементов. Как известно, данный метод несколько десятков лет известен в математике, как способ численного решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных, к которым относится расчет магнитного поля. Достоинством подобных систем является то обстоятельство, что расчет можно провести в интерактивном режиме, что делает работу с программой доступной для студентов и инженеров.

Для решения поставленной задачи необходимо задать геометрические размеры разрабатываемой модели, например, электромеханического устройства не классического исполнения (обычно в интерактивном режиме), ввести свойства материалов и граничные условия, запустить расчет и вывести его результаты в числовом и графическом виде. Пакет *ANSYS* предоставляет возможность либо самому исследователю разбить моделируемое пространство на конечные элементы (треугольники, прямоугольники, тетраэдры, параллелепипеды и пр.), либо *ANSYS* выполнит эту работу в автоматическом режиме. Весь процесс анализа весьма нагляден, как правило, он сопровождается графическими построениями на экране компьютера [2].

Заметим, что конструкция электромеханического устройства должна быть известна, а геометрические размеры магнитной цепи, ток возбуждения, ампер-витки реакции якоря и расположение их в пространстве статора синхронного двигателя должны быть заранее рассчитаны или заданы.

Для рассматриваемой конструкции с помощью программ пакета *ANSYS* можно определить: поле механических напряжений; тепловое поле; электрическое, магнитное, электромагнитное поле и др. Анализируются как двумерные, так и трехмерные поля; как стационарные, так и нестационарные процессы. Таким образом, возможности пакета *ANSYS* позволяют при проектировании электромеханического устройства существенно снизить затраты на стадии физического моделирования или избежать ее путем проведения физического экспери-

мента в среде *ANSYS* особенно в тех случаях, когда нет ни опытного образца, ни методики поверочного расчета и невозможно определить вариант его конструктивного решения, который бы обеспечил заданные технические требования. Заметим, что для выполнения поставленной задачи традиционно изготавливается один или несколько опытных образцов и проводятся их испытания. Заметим также, что для изготовления и испытания опытных образцов необходимы значительные материальные и временные затраты.

Однако на первом этапе использования пакета *ANSYS* всегда встает вопрос о качестве построенной исследователем расчетной модели и методологии определения сил в пакете *ANSYS*, например, между статором и ротором с целью расчета электромагнитного момента.

С целью подтверждения правильности выполнения необходимых операций при построении расчетной модели была проведена исследовательская расчетная работа, в которой были проведены вычисления максимальной величины электромагнитного момента для синхронного двигателя классического исполнения, расчет которого был выполнен по классической методике, изложенной в [3], и расчет того же момента, выполненного с использованием пакета *ANSYS* для того же двигателя.

Как известно значение электромагнитного момента зависит от величины рабочего угла  $\theta$ . Величина максимального момента для явнополюсной синхронной машины находится при значении угла  $\theta$ , находящегося в пределах между углами в 70 и 90 электрических градусов, и зависит от величины поля поперечной реакции якоря. Значение величины поля поперечной реакции якоря будем задавать путем задания положения осей фаз *A*, *B*, *C* в пространстве и угла  $\alpha$ , где  $\alpha$  определяет начальное значение тока в фазе *A*. Ось фазы *A* совместим с осью *d*. Положение первого паза в пространстве первой катушки фазы *A* был выбран таким образом, чтобы ось поля, создаваемого катушками фазы *A*, совпадала с осью *d* северного полюса двигателя и осью «у» глобальной системы координат. Далее в данном пазу моделировалась пазовая часть первой стороны первой катушки катушечной группы фазы *A*, а остальные, включая фазы *B* и *C*, моделировались согласно принятой схемы обмотки.

Алгоритм определения максимума электромагнитного момента состоял в следующем:

- в катушке, которой присвоено имя *A*, задавалось значение тока как функция угла  $\alpha$ :  $i_a = I_{\text{ном}} \sin \alpha$ , где за начальное значение угла  $\alpha$  принималось значение, равное нулю;

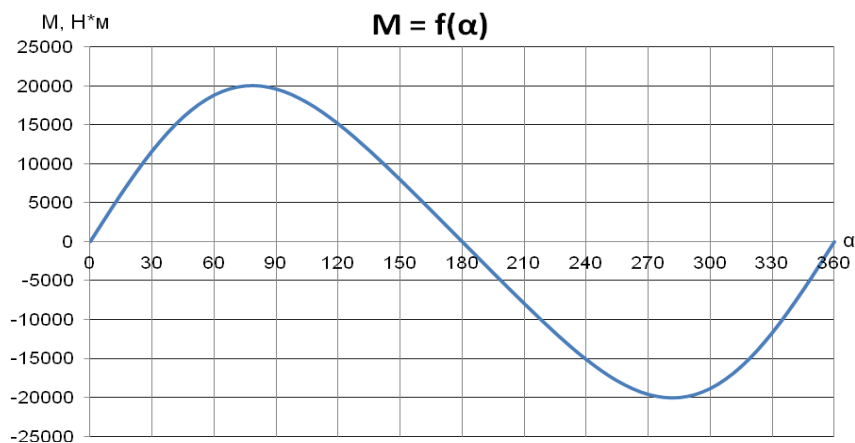
- токи в фазах *B* и *C* задавались стандартным образом:  $i_b = I_{\text{ном}} \sin (\alpha + 120)$ ,  $i_c = I_{\text{ном}} \sin (\alpha - 120)$ ;

Выполнялся расчет поля для каждой из конструкций. На основании расчета поля определялась проекция вектора силы, действующей между полюсом и статором, на перпендикуляр к оси *d*.

Для имитации изменения угла  $\theta$  начальная фаза токов  $\alpha$  задавалась с шагом в 10 электрических градусов. Для каждого значения начальной фазы было определено значение момента и построен график его изменения в зависимость от

угла  $\alpha$ . Из графика определялся угол  $\alpha$ , при котором момент двигателя достигал максимального значения.

Результаты расчетов, выполненных с использованием пакета *ANSYS*, показали, что для двигателя мощностью 500 кВт и частотой вращения 500 об/мин величина максимального электромагнитного момента, рассчитанного в пакете *ANSYS*, больше величины максимального электромагнитного момента, рассчитанного по классической методике, на 5 %.



Зависимость  
электромагнитного  
момента от угла  $\alpha$  для  
двигателя мощностью  
500 кВт классического  
исполнения

Дополнительно выполнялись расчеты для двигателя меньшей мощности (30 кВт) и другой частоты вращения (1500 об/мин.). Результаты расчетов, выполненных с использованием пакета *ANSYS* для двигателя мощностью 30 кВт и частотой вращения 1500 об/мин, показали, что максимальный электромагнитный момент, рассчитанный в пакете *ANSYS*, на 16 % превысил величину максимального электромагнитного момента, рассчитанного по классической методике.

Аналогичный расчет в среде *ANSYS* выполненный для двигателя мощностью 30 кВт и частотой вращений в 750 об/мин, показал превышение на 16 % величину максимального электромагнитного момента, рассчитанного по классической методике.

Из представленных результатов следует, что используемая нами методология расчета электромагнитного момента и расчетная модель в среде *ANSYS* обладают достаточной точностью и могут быть применены при расчете двигателя с кольцевыми обмотками.

#### Библиографический список

1. Пластун А.Т. Патент РФ 2121207, 1996.
2. Методы расчёта магнитных систем электрических аппаратов. Программа *ANSYS*: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.Б. Буль. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 288 с.
3. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 2002. 757с.